

논문 2005-42TE-2-4

밀리미터파 대역에서 전파경로손실 예측 모델

(A Study on the Predictive Model of Propagation Path Loss in Millimeter-Wave Band)

김 송 민*

(KIM SONG MIN)

요 약

본 논문에서는 밀리미터파 대역의 주파수를 실시간으로 이루어지는 차량간 통신시스템에 적용하기 위해 전파경로 분석과 전파경로손실 예측 모델을 제안하였다. 다중경로에 의한 반사파의 영향을 분석하기 위해 차량정체가 많은 대도시 지역 편도 2차선의 도로에서 차량과 차량 사이에 통신이 이루어지는 경우를 가정 하였다.

제안모델의 시뮬레이션 결과, 전파직선경로 100[m]를 진행하는 동안 반사파에 의한 전파경로는 직접파에 비해 0.1[m]~5.1[m]정도 더 길었다. 또한 전파경로 손실을 비교한 결과 벽면에 의한 반사의 경우 -0.8[dB]~-4.2[dB], 차량에 의한 반사의 경우 -0.8[dB]~-1[dB]정도 더 손실이 커짐을 알 수 있었다.

이상의 결과 벽면에 의해 발생한 반사파의 경로손실이 인접 차량에 의해 발생한 경로 손실 보다 -3.2[dB] 정도 더 큼을 알 수 있었다.

Abstract

This study was to suggest the propagation path loss and predictive model of propagation path analysis in order to apply the frequency in the millimeter-wave band to the real time inter-vehicle communication system.

This study was to suppose the case of inter-vehicle communication on the one-way two-lanes road in the big cities with a lot of traffic jams in order to analyze the effect by the reflected wave of multipath.

As a simulation of suggested model, it found out that the propagation path by the reflected wave was about 0.1[m]~5.1[m] longer than the one by the direct wave during the transmission of 100[m] wave direct path.

Also, as a result of comparing the propagation path loss, the loss would be about -0.8[dB]~-4.2[dB] larger in case of wall reflection and -0.8[dB]~-1[dB] vehicle reflection.

From the result above, this researcher found out that the path loss of reflected wave produced by the walls was about -3.2[dB] larger than the path loss produced by the adjacent vehicles.

Keywords : Inter-vehicle Communications, Propagation Path loss, analysis of propagation environments, millimeter-wave

I. 서 론

이동통신에 대한 수요가 급격히 증가함에 따라 한정된 주파수 자원을 극복하기 위해 밀리미터파 대역의 주파수를 이용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

[1]~[3]

밀리미터파는 파장이 매우 짧기 때문에 송수신에 필요한 장치의 소형화가 가능하고, 높은 산소흡수 영향으로 근거리통신에 이용할 경우 간섭신호에 강하고 높은 스펙트럼 효율을 얻을 수 있는 장점이 있다.^{[3]~[5]}

근거리 통신에 밀리미터파 대역의 주파수를 이용하기 위해서는 전파전파에 대한 해석이 정확히 이루어져야 한다. 그동안 제안된 밀리미터파의 전파해석 모델은 직접파와 지면 반사파만을 고려한 2-Ray 모델이 대부분이었다.^{[2], [6]~[8]}

그러나 전파경로 상 장애물의 영향을 받기 쉬운 도심

* 정희원, 익산대학 전자정보과
(Iksan National College Dept. of Electronic & Information)
접수일자: 2005년1월4일, 수정완료일: 2005년6월7일

지역에서 근거리 통신이 이용될 경우 다중 경로에 의한 반사파의 영향을 무시할 수 없다.

본 논문에서는 도심지역 편도 2차선 도로 상에서 차량과 차량 사이에 통신이 이루어지는 경우를 가정하여 밀리미터파 대역 주파수의 전파예측모델을 제안하였다.

전파경로 해석은 차량사이에 송·수신이 이루어지는 경우 차량의 위치 변화에 따라 4가지 모델로 나누어 해석하였으며, 다중경로에 의한 반사파는 도로 양편 건물 벽면과 차량 정체가 심한 경우 인접한 차량들에 의해 발생하는 경우를 가정하여 시뮬레이션 하였다.

그 결과 전파경로해석은 반사는 건물벽면 보다는 인접한 차량에 의해 많이 발생하였고, 전파경로손실에 미치는 영향은 인접한 차량보다는 벽면에 의한 경우가 더 큼을 알 수 있었다.

II. 전파경로해석 및 전파손실 예측모델 제안

1. 전파경로해석 모델

교통정체가 심한 도심지역에서 밀리미터파 대역을 이용하여 도로 전반에 대한 정보를 송·수신하는 경우 건물벽면에 의한 반사와 차량에 의한 반사파의 영향을 고려하여야 한다.

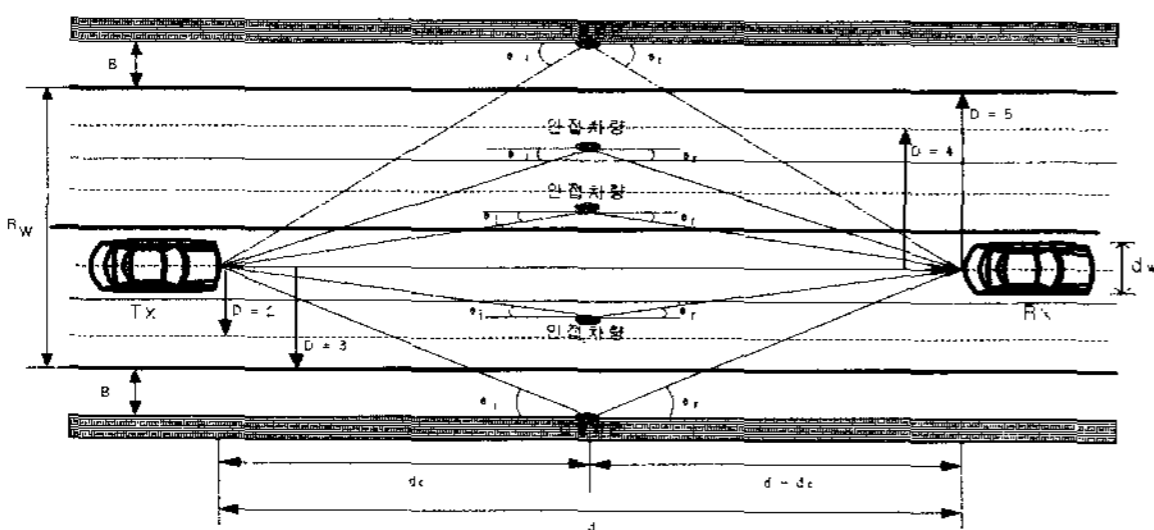


그림 1. 전파경로 해석 모델
Fig. 1. Supposition model for propagation path analysis.

표 1. 전파경로해석 파라미터
Table 1. Parameter of propagation path analysis.

n	차선
D	$1 \sim 2 \times n$
R_w	차선폭
B	보도폭
d_w	차랑폭
d	전파직선경로
Tx, Rx	송수신차량
d_c	Tx차량으로부터반사점까지거리
θ_i, θ_r	입사각, 반사각

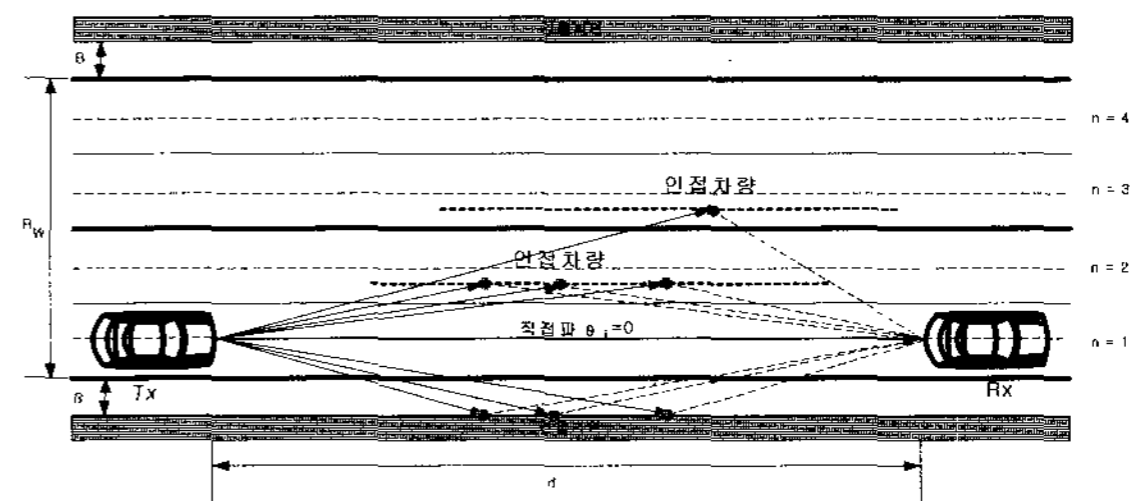
그림 1은 전파경로 상 도로 양쪽에는 건물이 밀집되어 있고, 인접 차선에는 차량이 정체된 경우이다.

그림 1에서 D 값은 Tx차량, Rx차량의 중심에서부터 반사체가 위치한 차선까지의 순서를 의미하며 D 값이 짝수이면 차량에 의한 반사, D 값이 홀수이면 벽면에 의한 반사를 의미한다.

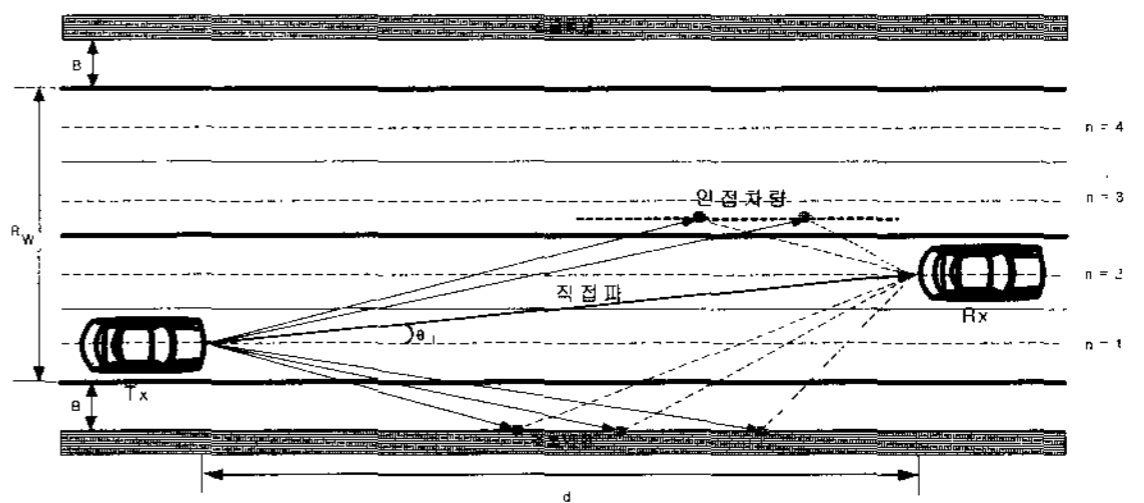
표 1은 전파경로를 해석하기 위한 파라미터이다.

그림 1에서 송수신 차량의 위치 변화에 따른 전파경로를 해석하기 위해 4가지 모델로 나누었다.

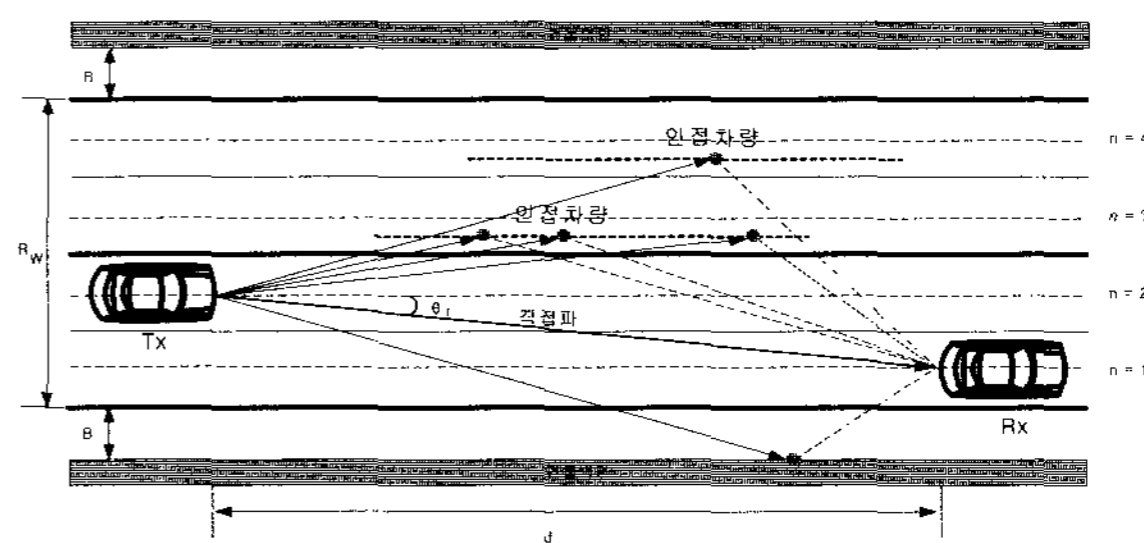
[모델 A] Tx, Rx 차량이 $n=1$ 인 경우



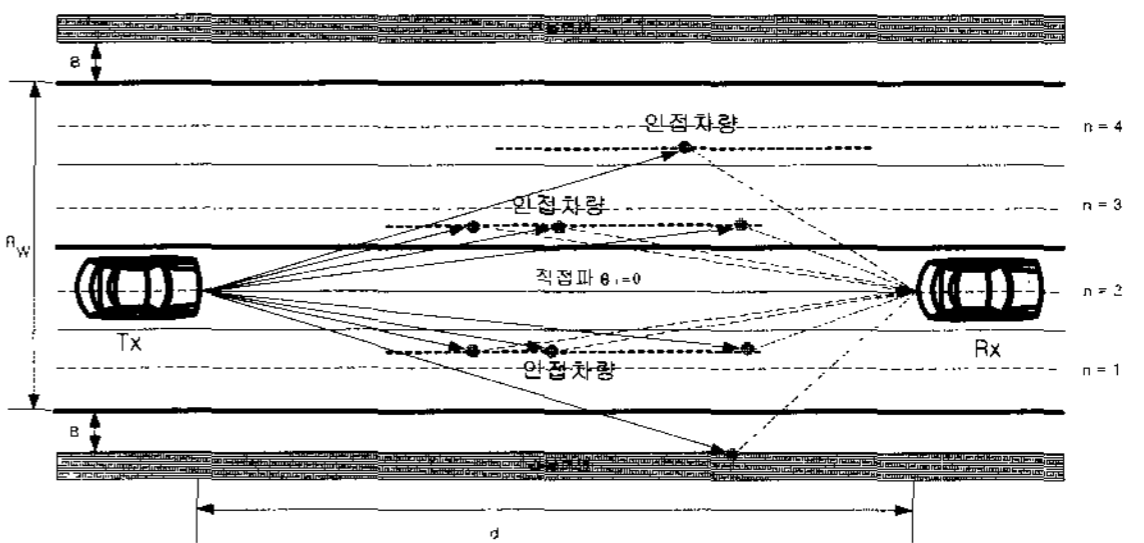
[모델 B] Tx 차량 $n=1$, Rx 차량 $n=2$ 인 경우



[모델 C] Tx차량 $n=2$, Rx 차량이 $n=1$ 인 경우



[모델 D] Tx, Rx 차량 $n=2$ 인 경우



2. 전파경로해석

그림 1에서 같이 인접한 차량과 벽면에 의해 반사가 이루어지는 경우 Tx차량으로부터 최초 반사점까지의 거리는 식 (1)과 같다.

$$d_c = \left[\frac{DR_w + 2n(B - d_w)}{2n} \right] \frac{\cos \theta_i}{\sin \theta_i} \quad (1)$$

여기서, $d_w = 0$ 인 경우 벽면에 의한 반사, $B=0$ 인 경우는 인접 차량에 의해 반사가 이루어진다.

반사가 이루어진 지점에서부터 Tx차량 중심선까지의 거리는 식 (2)와 같다.

$$h_c = \frac{DR_w + 2n(B - d_w)}{2n} \quad (2)$$

여기서, h_c 값은 D 값에 따라서 변화하며, [모델 A], [모델 D]와 같이 Tx, Rx차량의 위치가 동일한 경우 반사가 이루어진 지점에서부터 Tx차량과 Rx차량의 중심선까지 거리(D)는 동일하다.

그러나 [모델 B], [모델 C]와 같이 Tx차량과 Rx차량의 위치가 서로 다른 경우 반사가 이루어진 지점에서부터 Tx차량과 Rx차량 중심선까지의 거리(D)가 서로 다르다.

반사파에 의한 전파경로는 반사점을 기점으로 나누어 식 (3), 식 (4)와 같이 구한다.

$$r_{dc} = \frac{DR_w - n(d_w - 2B)}{2n \sin \theta_i} \quad (3)$$

$$r_{d-dc} = \frac{DR_w - n(d_w - 2B)}{2n \sin \theta_r} \quad (4)$$

여기서 입사각과 반사각은

$$\theta_i = \tan^{-1}(h_c / d_c),$$

$$\theta_r = \tan^{-1}(h_c / (d - d_c))$$

만약 Tx차량과 Rx차량이 동일한 차선을 주행하고 있는 경우($D=0$) 직접파의 입사각 $\theta_i=0$ 이며, Tx차량과 Rx차량이 서로 다른 차선을 주행하고 있는 경우 직접파의 입사각은 $\theta_i = \tan^{-1}\left(\left(D - \frac{R_w}{2n}\right) / d\right)$ 이다.

그러므로 $d_c < d$ 인 경우 총 전파경로는 식 (5)와 같다.

$$R = r_{dc} + r_{d-dc} \quad (5)$$

만약 $d_c > d$ 이면 Rx차량은 직접파만을 수신하는 경우이고, Rx차량까지의 전파경로는 식 (6)과 같다.

$$R = r_{dc} + r_{d-dc} = r_d = \frac{d}{\cos \theta_i} \quad (6)$$

3. 전파경로손실 예측모델

제안된 전파경로 해석 모델은 Tx차량과 Rx차량의 위치가 변화하는 경우까지를 고려하였다.

제안된 전파경로 해석 모델을 이용 전파예측모델은 식 (7)과 같다.

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{L(d)} \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \left| \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Gamma_n}{R_n} e^{jkR_n} \right| \quad (7)$$

여기서 $L(d)$: 강우감쇠, Γ_n : 반사계수

III. 시뮬레이션 및 검토

본 논문에서는 차량이 밀집되기 쉬운 도심지역에서 밀리미터파 대역을 이용한 차량 간 통신 시 전파경로 상에 존재하는 반사체의 영향을 해석하기 위해 전파경로 해석 모델을 제안하였다.

표 2는 전파경로 손실을 구하기 위한 시뮬레이션 조건이다.

1. 입사각, 반사각에 따른 반사점

표 3은 Tx차량이 1차선에 위치한 경우 입사각 변화에 따라 양쪽벽면과 인접차량에 반사가 이루어지는 반사점까지의 반사파의 직선경로 $dc[m]$ 를 구한 결과이다.

표 2. 시뮬레이션 조건
Table 2. Simulation specifications.

차선 n	4	
도로폭 R_w	14[m]	
보도폭 B	2[m]	
차량폭 d_w	1.8[m]	
파장 λ	5×10^{-3} [m]	
송신전력 P_t	250[mW]	
전파직선거리 d	100[m]	
송수신안테나높이 h_t, h_r	1[m]	
입사각 θ_i	$\pm 5^\circ$	
대기감쇠 $L(d)$	16/km	
감쇠계수 Γ_i	콘크리트	0.68
	냉연강판	0.98

표 3. 입사각, 반사각에 따른 반사파 직선경로
Table 3. Reflected Wave straight path according to the incidence angle, reflection angle.

D	θ_i	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
		벽면	1	97.4	48.7	32.5	24.3	19.5	16.2	13.9	12.2
	3	498.5	249.2	166.1	124.6	99.6	83	71.1	62.2	55.3	49.7
	5	899.5	449.7	299.8	224.8	179.8	149.8	128.3	112.3	99.7	89.7
	7	1300	650.2	433.4	325	260	216.6	185.6	162.3	144.2	129.7
차량	2	297.9	149	99.3	74.5	59.5	49.6	42.5	37.2	33	29.7
	4	699	349.5	232.9	174.7	139.7	116.4	99.7	87.2	77.5	69.7
	6	1100	550	366.6	274.9	219.9	183.2	157	137.2	122	109.7

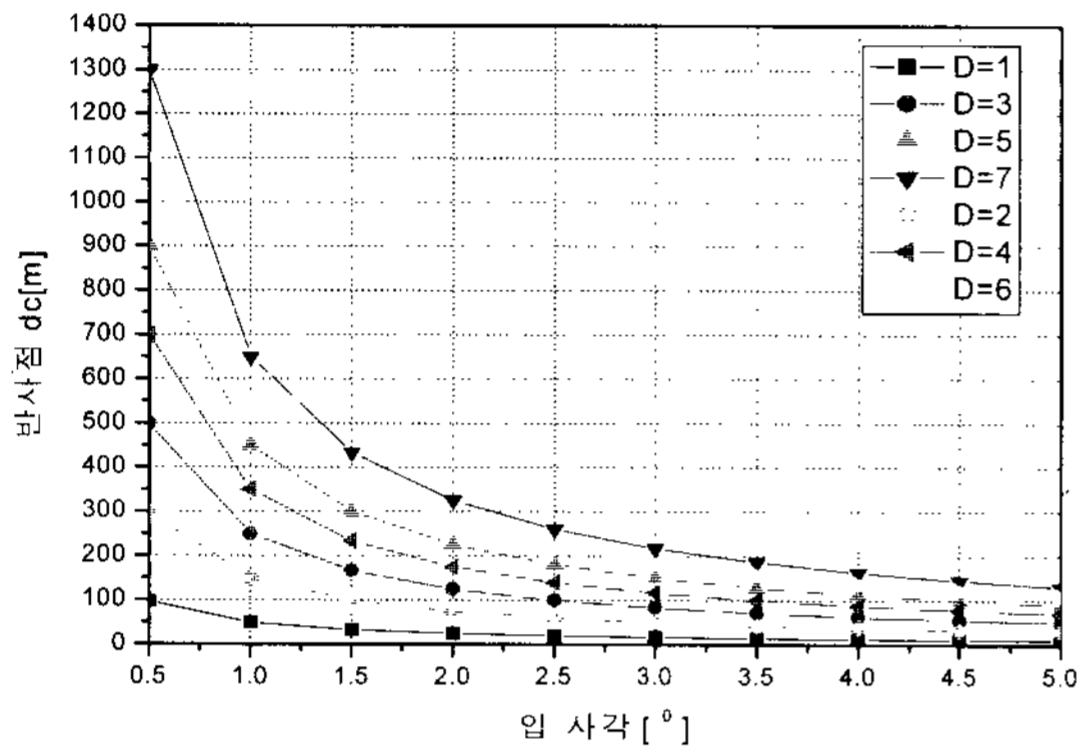


그림 2. 입사각, 반사각에 따른 반사파 직선경로
Fig. 2. Reflected Wave straight path according to the incidence angle, reflection angle.

표 3에서 양쪽 벽면에 의해 반사가 일어나는 경우 즉, D=1, 3이면 Tx차량 기준 오른쪽 벽면에 반사되는 경우이고, D=5, 7인 경우에는 Tx차량 기준 왼쪽 벽면에 의해 반사가 일어나는 경우이다. D=7인 경우에는 벽면에 의한 반사는 이루어지기 어려우므로 직접파만을 고려하여 전파경로 손실을 구하면 된다. 인접한 차량에 의해 반사가 이루어지는 경우 즉, D=2, 4, 6인 경우이다. D=6인 경우에는 차량에 의한 반사는 이루어지기 어려우므로 직접파만을 고려하여 전파경로 손실을 구하면 된다.

그림 2는 표 3을 이용하여 모델별로 입사각과 반사각에 따른 반사파의 직선경로를 나타낸다. 표 3에서 반사가 이루어지는 점까지 거리 와 총 전파직선경로 d [m]를 비교하여 반사점까지의 직선경로가 더 긴 경우에는 Rx 차량은 반사파에 의한 전파는 수신 불가능 하여 직접파만으로 송·수신이 이루어지게 된다.

2. 전파경로

표 4-1, 표 4-2는 Tx차량과 Rx차량의 위치 변화에 따른 전파경로를 구한 결과이다.

표 4-1. [모델 A], [모델 B]의 전파경로
Table 4-1. Propagation path of [Model A], [Model B].

D	θ_i	모델 A					모델 B			
		벽면		차량			벽면		차량	
		1,1	7,7	2,2	4,4	6,6	1,3	7,5	4,1	6,4
0.5		102	100	100	100	100	105.1	100	100	100
1		100.1	100	100	100	100	100.5	100	100	100
1.5		100.1	100	100	100	100	100.4	100	100	100
2		100.1	100.1	100.2	100.1	100.1	100.4	100.1	100.1	100
2.5		100.1	100.1	100.1	100.1	100.1	100.3	100.1	100.1	100
3		100.1	100.1	100.1	100.1	100.1	100.3	100.1	100.1	100
3.5		100.1	100.2	100.1	100.2	100.2	100.3	100.2	100.2	100
4		100.1	100.2	100.1	101.6	100.2	100.3	100.2	100.2	100
4.5		100.1	100.3	100.2	101.1	100.3	100.3	100.3	100.3	100
5		100.1	100.4	100.2	100.9	100.4	100.3	100.4	100.3	100

표 4-2. [모델 C], [모델 D]의 전파경로
Table 4-2. Propagation path of [Model C], [Model D].

D	θ_i	모델 C				모델 D			
		벽면		차량		벽면		차량	
		3,3	5,5	2,2	4,4	3,1	5,7	2,4	4,6
0.5		100	100	100	100	100	100	100	100
1		100	100	100	100	100	100	100	100
1.5		100	100	100	100	100	100	100	100
2		100.1	100.1	100.2	100.1	100.1	100.1	100.1	100.1
2.5		100.1	100.1	100.1	100.1	100.1	100.1	100.1	100.1
3		101.6	100.1	100.1	100.1	100.5	100.1	100.1	100.1
3.5		101	100.2	100.1	100.2	100.4	100.2	101.9	100.2
4		100.8	100.2	100.1	101.6	100.3	100.2	101	100.2
4.5		100.8	100.3	100.2	101.1	100.3	100.3	100.8	100.3
5		100.7	104.9	100.2	100.9	100.3	100.4	100.7	100.4

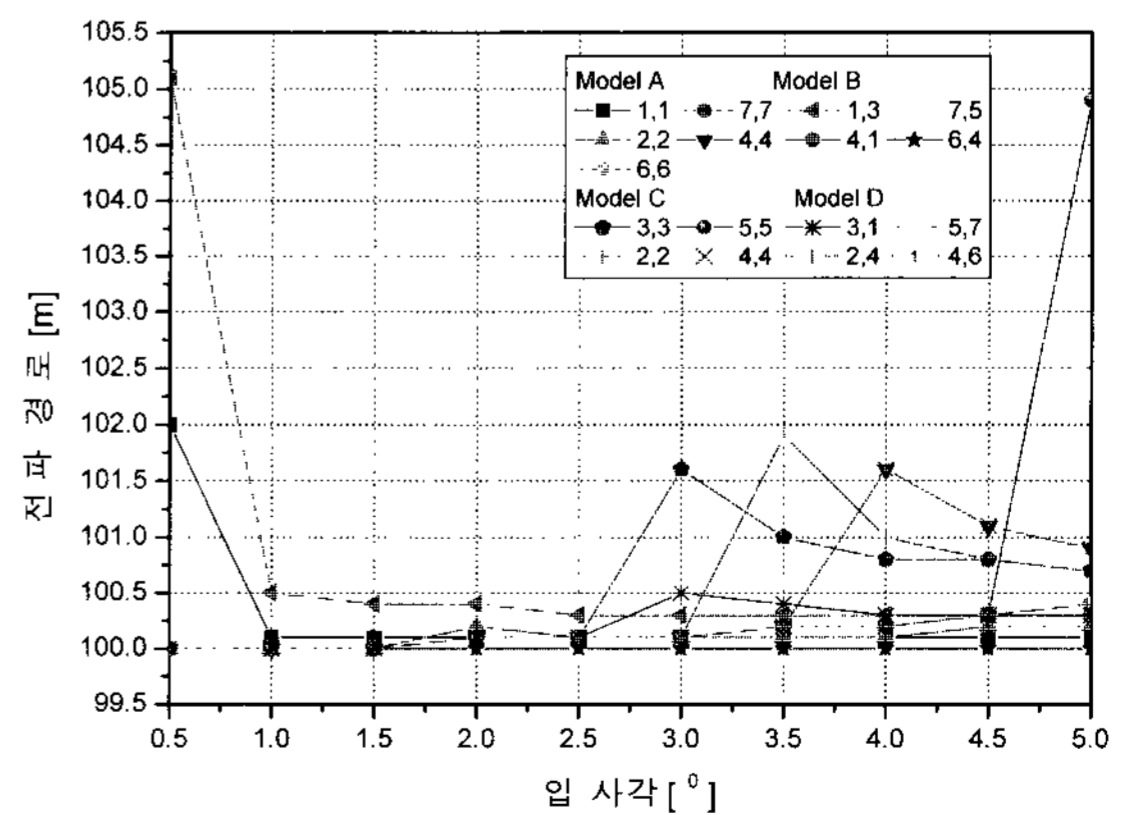


그림 3. 전파경로
Fig. 3. Propagation Path.

[모델 A]의 경우 전파직선경로를 기준으로 할 때 입사각 변화에 따른 전파경로를 각각 구한결과 Tx차량과 Rx차량의 좌표 값이 (1,1)인 경우는 0.1~2[m], (7,7)인 경우는 0~0.4[m], (2,2)인 경우는 0~0.2[m], (4,4)인 경우는 0~1.6[m], (6,6)인 경우는 0~0.4[m]차이가 있었다.

[모델 B]의 경우 전파직선경로를 기준으로 할 때 입사각 변화에 따른 전파경로를 각각 구한결과 Tx차량과 Rx차량의 좌표 값이 (1,3)인 경우는 0~5.1[m], (7,5)인 경우는 입사각에 관계없이 0~0.4[m], (4,1)인 경우는 0~0.3[m], (6,4)인 경우는 직접파만을 수신하는 경우이다. 전파경로 차가 존재하지 않는다.

[모델 C]의 경우 전파직선경로를 기준으로 할 때 입사각 변화에 따른 전파경로를 각각 구한결과 Tx차량과 Rx차량의 좌표 값이 (3,3)인 경우는 0~1.6[m], (5,5)인 경우는 0~4.9[m], (2,2)인 경우는 0~0.2[m], (4,4)인 경우는 0~1.6[m]차이가 있었다.

[모델 D]의 경우 전파직선경로를 기준으로 할 때 입사각 변화에 따른 전파경로를 각각 구한결과 Tx차량과 Rx차량의 좌표 값이 (3,1)인 경우는 0.3~5.1[m], (5,7)인 경우는 입사각에 관계없이 0~0.4[m], (2,4)인 경우는 0~0.8[m], (4,6)인 경우는 0~3.4[m]차이가 있었다.

그림 3은 표 4-1과 표 4-2의 결과를 이용 모델 별 전파경로를 입사각 변화에 따라 나타내었다.

3. 전파경로손실

표 5-1과 표 5-2는 표 4-1과 표 4-2의 전파경로에 따른 전파경로 별 손실을 식(6)과 식(7)을 이용해 구한 결과이다.

그림 4는 표 5-1과 표 5-2의 결과를 이용 모델 별 전

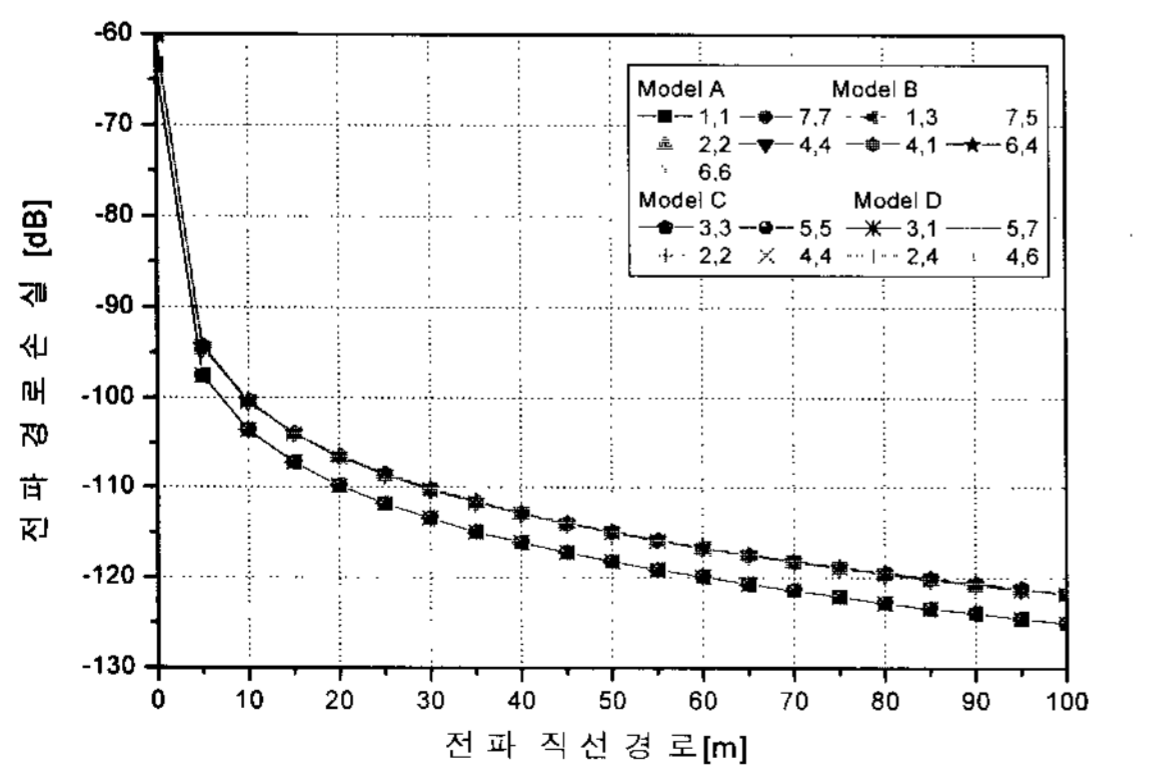


그림 4. 전파경로손실
Fig. 4. Propagation Path Loss.

파경로손실을 입사각 변화에 따라 나타내었다.

제안 모델에 의해 구해진 전파경로를 이용 전파경로 손실을 구한 결과는 다음과 같다.

첫째, 편도 2차선 도로에서 총 전파 직선 경로 100[m]를 진행하는 동안 반사파에 의한 전파경로는 직접파에 비해 0.1[m]~5.1[m]정도가 더 길었다.

표 5-1. [모델 A], [모델 B] 전파경로손실
Table 5-1. Propagation Path Loss of [Model A], [Model B].

D d	모델 A					모델 B			
	벽면		차량			벽면		차량	
	1,1	7,7	2,2	4,4	6,6	1,3	7,5	4,1	6,4
0.1	-63.4	-60	-60.2	-60.2	-60.2	-63.4	-60	-60.2	-60
5	-97.6	-94.3	-94.5	-94.5	-94.5	-97.6	-94.3	-94.5	-94.3
10	-103.6	-100.3	-100.5	-100.5	-100.5	-103.6	-100.3	-100.5	-100.3
15	-107.2	-103.9	-104	-104	-104	-107.2	-103.9	-104	-103.9
20	-109.8	-106.4	-106.6	-106.6	-106.6	-109.8	-106.4	-106.6	-106.4
25	-111.8	-108.4	-108.6	-108.6	-108.6	-111.8	-108.4	-108.6	-108.4
30	-113.4	-110.1	-110.3	-110.3	-110.3	-113.4	-110.1	-110.3	-110.1
35	-114.9	-111.5	-111.7	-111.7	-111.7	-114.9	-111.5	-111.7	-111.5
40	-116.1	-112.8	-112.9	-112.9	-112.9	-116.1	-112.8	-112.9	-112.8
45	-117.2	-113.9	-114	-114	-114	-117.2	-113.9	-114	-113.9
50	-118.2	-114.8	-115	-115	-115	-118.2	-114.8	-115	-114.8
55	-119.1	-115.8	-115.9	-115.9	-115.9	-119.1	-115.8	-115.9	-115.8
60	-119.9	-116.6	-116.8	-116.8	-116.8	-119.9	-116.6	-116.8	-116.6
65	-120.7	-117.4	-117.5	-117.5	-117.5	-120.7	-117.4	-117.5	-117.4
70	-121.4	-118.1	-118.3	-118.3	-118.3	-121.4	-118.1	-118.3	-118.1
75	-122.1	-118.8	-118.9	-118.9	-118.9	-122.1	-118.8	-118.9	-118.8
80	-122.8	-119.4	-119.6	-119.6	-119.6	-122.8	-119.4	-119.6	-119.4
85	-123.4	-120	-120.2	-120.2	-120.2	-123.4	-120	-120.2	-120
90	-123.9	-120.6	-120.8	-120.8	-120.8	-123.9	-120.6	-120.8	-120.6
95	-124.5	-121.1	-121.3	-121.3	-121.3	-124.5	-121.1	-121.3	-121.1
100	-125	-121.7	-121.8	-121.8	-121.8	-125	-121.7	-121.8	-121.7

표 5-2. [모델 C], [모델 D] 전파경로손실
Table 5-2. Propagation Path Loss of [Model C], [Model D].

D d	모델 C				모델 D			
	벽면		차량		벽면		차량	
	3,3	5,5	2,2	4,4	3,1	5,7	2,4	4,6
0.1	-63.4	-63.4	-60.2	-60.2	-63.4	-60	-60.2	-60
5	-97.6	-97.6	-94.5	-94.5	-97.6	-94.3	-94.5	-94.3
10	-103.6	-103.6	-100.5	-100.5	-103.6	-100.3	-100.5	-100.3
15	-107.2	-107.2	-104	-104	-107.2	-103.9	-104	-103.9
20	-109.8	-109.8	-106.6	-106.6	-109.8	-106.4	-106.6	-106.4
25	-111.8	-111.8	-108.6	-108.6	-111.8	-108.4	-108.6	-108.4
30	-113.4	-113.4	-110.3	-110.3	-113.4	-110.1	-110.3	-110.1
35	-114.9	-114.9	-111.7	-111.7	-114.9	-111.5	-111.7	-111.5
40	-116.1	-116.1	-112.9	-112.9	-116.1	-112.8	-112.9	-112.8
45	-117.2	-117.2	-114	-114	-117.2	-113.9	-114	-113.9
50	-118.2	-118.2	-115	-115	-118.2	-114.8	-115	-114.8
55	-119.1	-119.1	-115.9	-115.9	-119.1	-115.8	-115.9	-115.8
60	-119.9	-119.9	-116.8	-116.8	-119.9	-116.6	-116.8	-116.6
65	-120.7	-120.7	-117.5	-117.5	-120.7	-117.4	-117.5	-117.4
70	-121.4	-121.4	-118.3	-118.3	-121.4	-118.1	-118.3	-118.1
75	-122.1	-122.1	-118.9	-118.9	-122.1	-118.8	-118.9	-118.8
80	-122.8	-122.8	-119.6	-119.6	-122.8	-119.4	-119.6	-119.4
85	-123.4	-123.4	-120.2	-120.2	-123.4	-120	-120.2	-120
90	-123.9	-123.9	-120.8	-120.8	-123.9	-120.6	-120.8	-120.6
95	-124.5	-124.5	-121.3	-121.3	-124.5	-121.1	-121.3	-121.1
100	-125	-125	-121.8	-121.8	-125	-121.7	-121.8	-121.7

둘째, 벽면에 의해 반사가 이루어진 경우와 차량에 의해 반사가 이루어진 경우를 강우감쇠만을 고려한 자유공간 상태에서의 전파경로 손실과 비교하면 벽면반사인 경우는 $-0.8[\text{dB}] \sim -4.2[\text{dB}]$, 차량 반사인 경우는 $-0.8[\text{dB}] \sim -1[\text{dB}]$ 정도 더 손실이 커짐을 알 수 있었다.

셋째, 벽면에 의해 발생한 반사파의 경로손실이 인접 차량에 의한 경로 손실 보다 $-3.2[\text{dB}]$ 정도 큼을 알 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 차량사이에 송·수신이 이루어지는 경우 차량의 위치 변화에 따라 4가지 모델로 나누어 해석하였으며, 다중경로에 의한 반사파는 도로 양편 건물 벽면과 인접한 차량들에 의해 발생하는 경우를 가정하여 시뮬레이션 하였다.

그 결과 반사파는 건물벽면 보다는 인접한 차량에 의해 많이 발생하였고, 전파경로손실에 미치는 영향은 인접한 차량보다는 벽면에 의한 경우가 더 큼을 알 수 있었다.

향후 지능형침단교통시스템 분야에 밀리미터파 대역의 주파수가 이용되기 위해서는 전파환경별 무선채널 특성에 대한 측정과 모델링 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 본다.

참 고 문 헌

- [1] W.Schafer, "Channel modeling of short-range radio links at 60GHz for mobile intervehicle communication," Proc. IEEE VTS 41th Vehicular Technology Conference, pp.314-319, 1991.
- [2] T. Wada, M. Maeda, M. Okada, K. Tsukamoto, and S. Komaki, "Theoretical Analysis of Propagation and Network Characteristics in Millimeter Waves Inter-Vehicle Communication System", IEICE Trans., Vol. J81-B-II, No.12, pp.1116-1125, 1998.
- [3] Kazunori Kimura, Jun Horikoshi, "Prediction of Millimeter-Wave Multipath Propagation Characteristics in Mobile Radio Environment", IEEE Transaction on Electron Vol. E82-C, No.7, pp.1253-1259, July 1999.
- [4] Robert Schneider, Dirk Didascalou, "Impact of Road Surfaces on Millimeter-Wave Propagation", IEEE Transaction on Vehicular Technology Vol.49, No.4, pp.1314-1320, July 2000.
- [5] 이상주, 박공만, "전파환경에 따른 밀리미터파 대역

경로손실 측정 및 분석", 한국전자과학회논문지, 제11권 3호, 2000년

- [6] A. Kato, K. Sato, "Propagation Characteristics of 60-GHz Millimeter Waves for ITS Inter-Vehicle Communications", IEICE Transaction on Communications Vol. E84-B, No.9, pp.2530-2539, September 2001.
- [7] A. Kata, M. Fujise and T. Horimatsu, "Measurements of inter-vehicle propagation and data transmission at 60GHz band", Proc. Intl. Sym. Antennas & Propagat. (ISAP2000), pp. 325-328, Fukuoka, Aug., 2000.
- [8] K. Takahashi, T. Udagawa, H. Zhang, T. Arita, and M. Nakagawa, "Inter-Vehicle Wireless 1394 System", IEICE Trans. Commun., Vol. E85-B, No.5, May 2002.

— 저 자 소 개 —

김 송 민(정회원)
제37권 TE편 제27호참조